

Arbuscular mycorrhizal fungus인 *Glomus manihot* 균 접종이 고추의 성장과 영양분 흡수에 미치는 영향

이 호 용* · 민 봉 희¹

상지대학교 생명과학과, ¹대구대학교 생명과학부

Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungus, *Glomus manihot*, on Plant Growth and Nutrient Uptake of Pepper Seedlings

Ho Yong Lee* and Bong Hee Min¹

Department of Biological Science, Sang Ji University, Wonju 220-702, Korea

¹Division of Biological Science, Daegu University, Kyungsan 712-714, Korea

Abstract - Effects of arbuscular mycorrhizal fungus (AMF), *Glomus manihot*, on plant growth and nutrient uptake on pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings were evaluated in the nursery experiment. Five different strains of pepper, Chungok, Shingang, Manitta, Gonggongchil, and Shintaeyang, were used in this study. Total fresh weight, nutrient (nitrogen, phosphate and potassium) uptake were increased in all strains inoculated with *G. manihot* alone and *G. manihot* and rock phosphate over control at 2 weeks after seeding. Plant weight and phosphate uptake in plants treated with AMF were significantly higher ($P < 0.05$) than those of control at 6 weeks after seeding. The treatment with *G. manihot* and rock phosphate gave better plant performance than the treatment with *G. manihot* alone at 6 weeks after seeding. The lengths of pathogenic symptom on pepper by *Phytophthora capsici* were reduced significantly by the inoculation of *G. manihot* spores. Therefore, it would be expected that AMF can be used as the biocontrol agent on pathogens in pepper.

Key words : arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus manihot*, nutrition uptake increase, pepper

서 론

자연 생태계에 있어 균권 곰팡이(arbuscular mycorrhizal fungus, AMF)는 지구상 모든 토양에 존재하며 식물의 뿌리에 공생하여 생태학적 위치를 차지하고 있다. 이러한 균권 미생물들은 기주식물에 대해 각종 영양분

을 공급할 뿐 아니라 토양전염성 병원균의 침해를 억제하고 있어 많은 야채류의 성장에 매우 적극적인 도우미의 역할을 담당하고 있다(Caron *et al.* 1986; Azcon and El-Atrash 1997; Gupta *et al.* 2000). Mycorrhizal 공생은 곰팡이와 고등식물 모두에 있어 극한의 온도, 토양 영양, 질병 등 여러 가지 자연의 자극에 의한 문제를 해결하는 일종의 생존전략이 된다. 이로 인해 mycorrhizal 공생식물들은 비공생식물들에 비해 그 성장(줄기 크기, 경엽의 수, 줄기와 뿌리의 무게와 건중량)이 우세한 것

*Corresponding author: Ho Yong Lee, Tel. 033-730-0432, Fax. 033-730-0403, E-mail. hylee@mail.sangji.ac.kr

으로 보고되고 있다. 예를 들어 *Sesbania sesban*에 균권 곰팡이를 공생시켜 16주 재배한 결과 비 균권 재배와 비교하여 줄기의 크기, 중량 및 건중량이 각각 37%, 109% 및 52% 증가하는 것으로 나타난 바도 있다(Sharmila *et al.* 2000). AMF의 이러한 요인 중 하나는 인산의 흡수, 특히 불용성 인산을 용해하고 흡수하도록 돕고 있음이 알려져 있다(Tinker *et al.* 1992).

고추(*Capsicum annuum* L.)는 한국에서 가장 많이 재배되는 채소 중 하나로 사회적 경제적 중요성이 매우 큰 작물이다. 더구나 고추는 균근균 의존도가 높은 것으로 알려져 있는 반면(손 1991) 아직은 화학적 농약을 사용하여 질병을 방제하고 있어 고품질 생산을 통한 소득 증대를 이루지 못하고 있다.

본 연구에서는 AMF로 잘 알려진 *Glomus manihot*을 고추의 파종시 투입하여 고추의 성장과 영양 흡수에 어떠한 영향을 미치는지 알아보려고 하였다. 또한 6월부터 8월 사이 고추 성장에 막대한 병해를 일으킴으로 고추 농사에 경제적 손실을 일으키는 고추 역병균과 동시 투입하였을 때의 영향도 알아봄으로 AMF 투입이 질병 방제에 미치는 영향에 대해서도 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험 고추 품종 및 AMF 접종 방법

청옥, 신강, 마니파, 공공칠 및 신태양 등 5종의 고추를 실험에 사용하였다. *Glomus manihot*은 독일 Gottingen 대학교의 Dr. Moaward로부터 분양받아 사용하였으며 포자를 표면 살균하여 100개의 포자를 1 ml의 멸균수에 현탁시켜 접종원으로 사용하였다.

배합토는 모래와 질석을 부피비로 동량 혼합하여 포트에 담아 121°C, 15분간 멸균하였으며 고추의 종자는 28°C 항온기에서 5일간 발아시킨 후 상기 배합토로 충전된 포트에 다음과 같은 조건을 적용시켜 4회 반복하여 파종하였다. 실험의 조건으로는 1) *Glomus manihot* 처리군, 2) *Glomus manihot* 및 rock phosphate 처리군, 3) Rock phosphate 처리군, 4) 대조군의 4가지 실험군으로 실시하였다.

불용성 인산염 실험을 위해 rock phosphate를 토양 kg당 phosphate 60 mg이 되도록 calcium phosphate를

처리하였다. 실험에 사용한 토양의 화학적 성분을 분석한 결과는 Table 1과 같다.

2. 고추 성장반응 및 화학분석

파종 후 2주 및 6주간 재배한 고추를 수확하여 식물체의 중량, 및 N, P, K, 흡수량을 조사하였다. 이때 전 질소(microkjeldahl법), 인산(vanadate법), 칼륨, 칼슘(원자흡광 분광법)을 농촌진흥청 토양화학분석법(1988)에 준하여 정량하였다.

3. 현미경 관찰 및 감염율 측정

현미경 관찰은 Jung 등(2000)의 방법에 따라 수행하였다. 수확한 고추의 뿌리를 깨끗하게 씻어 2g되게 자른 후 이를 다시 1 cm 간격으로 잘게 쪼개었다. 잘게 쪼갠 뿌리는 FAA용액(formalin : acetic acid : ethanol = 13 : 5 : 200, v/v/v)에서 20시간 침전시킨 후, 이를 증류수로 수차례 씻어 20 ml 바이알에 10% KOH용액과 함께 넣어 90°C에서 60분간 보온하였다. 이 후 chlorazole black 염색용액(85% lactic acid 400 ml, chlorazole black E 1.2 g, glycerine 400 ml, distilled water 400 ml)에서 50°C의 온도로 12시간 보온, 염색하였다. 염색된 뿌리는 현미경(200배) 하에서 확인한 후 감염율을 Read 등(1976)의 방법에 따라 다음의 식과 같이 계산하였다.

$$\text{균근 감염율} = \frac{\text{균근 균 감염뿌리 절편 수}}{\text{조사한 뿌리 절편 수}} \times 100$$

4. 고추 역병 조사

고추 역병균인 *Phytophthora capsici*는 농업과학기술원에서 분양받아 PDA와 PDB에서 25°C, 2주간 배양하여 포자를 수확한 후 사용하였다. AMF의 처리조건을 확인하기 위하여 파종시 고추씨에 대한 포자의 접종 수별로 대조군과 비교하여 조사하였다.

결과 및 고찰

1. AMF 감염 확인과 토양 비옥도

고추의 뿌리에 감염된 AMF의 균사 및 포자의 형태는

Table 1. Chemical characteristics of soil used in this experiment

pH (1:5 H ₂ O)	OM (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	Exchangeable cation (Cmol kg ⁻¹)			Electric conductivity (dS m ⁻¹)	CEC (Cmol kg ⁻¹)
			K	Ca	Mg		
5.9	3.4	538.7	0.84	3.43	0.93	0.25	9.6

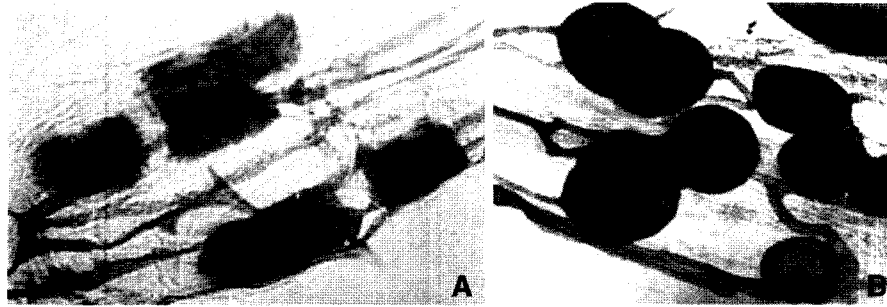


Fig. 1. Morphology of arbuscular mycorrhizal fungus. In the stained roots, arbuscules and hyphae spread along the cortex in both directions (A). Oval vesicles with thickened walls are organized between root cortex cells (B).

Table 2. Effects of *Glomus manihot* on plant growth and nutrient uptake of pepper^x at 2 weeks after seeding

Treatments	Total Fresh weight ^y (g)						Root infection rate (%)						P uptake (mg/plant)					
	A	B	C	D	E	M	A	B	C	D	E	M	A	B	C	D	E	M
<i>Glomus manihot</i>	1.2	1.0	1.2	1.3	0.9	1.12	28.5	22.0	26.2	26.8	27.8	26.3	3.6	3.0	3.6	2.6	2.8	3.12
<i>G. manihot</i> + Rock phosphate	1.2	1.0	1.1	1.4	0.9	1.12	21.0	22.5	25.0	23.8	27.5	24.0	1.6	3.2	3.0	4.0	2.6	2.88
Rock phosphate	1.2	0.9	0.9	1.0	0.8	0.96	11.5	12.5	10.0	10.0	11.3	11.1	3.2	2.6	2.4	2.0	2.4	2.52
Control	1.1	0.8	0.9	1.0	0.9	0.94	9.4	10.0	12.5	8.8	12.5	10.6	3.0	2.0	2.2	2.0	2.4	2.32
Mean	1.2	0.9	1.0	1.0	0.9		17.6	16.8	18.4	17.4	19.8		2.1	2.7	2.8	2.6	2.6	
Treatments	N uptake (mg/plant)						K uptake (mg/plant)						Zn uptake (mg/plant)					
	A	B	C	D	E	M	A	B	C	D	E	M	A	B	C	D	E	M
<i>Glomus manihot</i>	24.2	30.4	12.2	18.0	14.4	19.8	18.8	15.4	16.8	15.4	13.0	15.9	1.2	1.1	1.2	1.5	1.3	1.26
<i>G. manihot</i> + Rock phosphate	12.2	24.4	26.0	21.0	13.0	19.3	19.0	13.0	13.8	20.4	13.0	15.8	1.4	1.2	1.1	1.8	1.2	1.34
Rock phosphate	27.8	24.6	24.4	21.2	12.2	22.0	18.6	13.6	12.0	9.8	12.4	13.3	1.4	0.8	1.1	0.9	1.2	1.08
Control	5.4	15.4	13.0	3.6	4.2	8.3	16.1	10.8	12.8	9.8	13.6	12.6	1.7	0.9	1.0	0.8	1.2	1.12
Mean	17.4	23.7	18.9	15.9	8.5		18.1	13.7	13.8	13.9	13.0		1.5	1.0	1.1	1.3	1.2	

A: Chungok, B: Shingang, C: Manitta, D: Gonggongchil, E: Shintaeyang, M: Mean.

x: Means of four replications with five plants each.

y: Means in each column followed by the same letter are not significantly different ($P=0.05$) according to Duncan's multiple range test.

Fig. 1과 같다. 토양 내 주입된 *G. manihot* 포자가 감염된 뿌리 부위에 먼저 집락을 발달시키며 뿌리 속으로 성장하였으며, arbuscules는 고추 뿌리의 cortex를 따라 양 방향으로 뻗어나가며 발달되었음을 확인할 수 있었다. 두꺼운 껍데기의 난구형 vesicle들은 뿌리 cortex 세포들 사이에서 자리잡고 있었다. Chlamyospore들 역시 잔뿌리의 cluster들 사이에서 형성되어 있었다.

2. *Glomus manihot* 처리에 따른 고추의 성장과 영양흡수 비교

청옥, 신강, 마니마, 공공칠 및 신태양 등 5품종의 고추에 종자 당 *G. manihot* 포자 2.0×10^3 개를 처리하여 파종한 후 2주째 나타난 결과는 Table 2와 같다. 조사 결과, 파종 2주 후 무게의 변화는 거의 없었으나 인과 질

소의 흡수량은 각기 34.48% 및 138.55% 증가한 것으로 나타나 AMF의 처리가 무기염류의 흡수에 매우 큰 영향을 주는 것으로 판단되었다. 이는 근계의 발달이 낮은 발아 초기의 고추는 AMF에 대한 의존성이 높다고 보고한 Baylis (1975)의 결과와 일치하였다. 따라서 AMF의 처리는 파종시기와 동시에 이루어지는 것이 가장 효과적인 것으로 판단되었으며 이는 박 등(1999)의 실험 결과와도 일치하나 앞으로 AMF의 접종 시기에 따른 연구가 보충되어야 할 것으로 사료된다. 특히 토양 내 불용성 염으로 축적되는 인산의 문제는 경작에 있어 매우 중요한 위해 요인인데 이들 AMF를 처리하는 경우 축적된 불용성 인산을 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

파종 후 6주간 생육한 결과, AMF 및 인산염 처리에

Table 3. Effects of *Glomus manihot* on plant growth and nutrient uptake of pepper^x at 6 weeks after seeding

Treatments	Total Fresh weight (g)						Root infection rate (%)						P uptake (mg/plant)					
	A	B	C	D	E	M	A	B	C	D	E	M	A	B	C	D	E	M
<i>Glomus manihot</i>	13.2	14.0	13.2	13.3	11.9	12.3	62.5	60.0	56.2	58.8	48.8	57.3	9.6	9.3	10.3	9.6	9.9	9.7
<i>G. manihot</i> + Rock phosphate	15.2	13.5	13.1	16.4	12.9	14.2	60.0	62.5	55.0	53.8	47.5	55.8	9.8	9.2	11.4	10.9	9.2	10.1
Rock phosphate	11.2	10.9	10.9	10.0	9.8	10.6	37.5	32.5	35.0	30.0	36.3	34.3	7.2	6.2	7.3	6.8	7.5	7.0
Control	10.1	9.8	9.9	10.0	10.9	10.1	26.4	20.0	22.5	28.8	22.5	24.0	6.6	6.2	6.4	6.2	7.2	6.5
Mean	11.7	12.1	11.8	12.4	11.4		46.6	43.8	42.2	42.9	38.8		8.3	7.7	8.9	8.4	8.5	

A: Chungok, B: Shingang, C: Manitta, D: Gonggongchil, E: Shintaeyang, M: Mean.

x: Means of four replications with five plants each.

y: Means in each column followed by the same letter are not significantly different (P=0.05) according to Duncan's multiple range test.

Table 4. Inhibition effects of *Glomus manihot* on fruit rot in pepper by *Phytophthora capsici*

Number of spore (each seed)	Length of symptom (cm)
15	6.23±0.77
25	2.32±0.23
50	2.97±0.28
Untreated control	7.24±0.13

따른 중량의 증가는 매우 의미 있는 결과 ($P < 0.05$)로 나타났다. 또한 이러한 결과는 인산의 흡수량 증가와도 일치하였다 (Table 3). 즉 AMF가 무기 염류의 용해도를 증가시키고 흡수를 도와 성장의 증가를 유도한 것으로 판단할 수 있었으며 이는 Vaast 등 (1996)의 결과와 일치하였다. 고추 품종에 따른 차이를 조사한 결과, 신강과 공공칠 품종에서 가장 좋은 효과를 나타낸 반면 신태양 품종에서 가장 효과가 낮은 것으로 나타났으나 전체 품종 간에 절대적인 차이를 나타내지는 않았다. 특히 신태양 품종에서 초기 감염율이 좋게 나타났던 반면 6주간 생육 결과에서는 감염율이 낮게 나타났는데 그 이유는 알 수 없었으나 AMF 감염율이 낮아진 것과 중량의 낮은 증가 사이에는 밀접한 상관관계가 있을 것으로 판단되었다.

3. *Glomus manihot* 처리에 따른 고추의 역병 방제 효과

성장효과가 가장 뛰어난 것으로 판단된 공공칠 종자를 이용하여 고추 역병에 대한 *Glomus manihot* 효과를 측정하였다. 고추 파종시 *Glomus manihot* 배양액을 포자수에 따라 관주하고 3개월 된 고추의 줄기에 고추 역병균 배양액을 접종하였다. 역병균을 접종한 일주일 후에 줄기에 나타난 병변의 길이를 조사한 결과 25개의 포자 처리구에서 68%의 유의성 있는 억제효과 ($P < 0.05$)를 나타내었으며 접종 포자수가 증가된다 하더라도

억제효과가 증가되지는 않았다. 이는 Menge와 Timmer (1982)의 실험결과에서 나타난 바와 같이 포자수 10~20개가 접종효과를 보는데 충분하기 때문으로 판단되었다.

적 요

균권 곰팡이 (arbuscular mycorrhizal fungus, AMF)의 하나인 *Glomus manihot*을 이용하여 고추의 성장과 무기이온 흡수 및 고추의 치명적 질병인 역병 방제에 미치는 효과를 조사한 결과 매우 유의적인 결과를 얻을 수 있었다. AMF 균주 처리에 의해 질소, 인산, 칼리의 흡수와 초기 중량이 증가되었음을 파종 2주만에 확인할 수 있었으며 고추 품종에 따른 차이는 크게 나타나지 않았다. 이는 *Glomus manihot*이 고추의 발아와 동시에 뿌리에 공생하게 되어 나타나는 결과였으며 따라서 파종 시기에 맞춰 AMF를 투입하는 것이 중요한 것으로 판단된다. 야외에서 6주간 경작한 결과, 중량은 AMF와 불용성 인산을 동시 처리한 결과 40% 가까운 증가 효과를 나타내었다. 이러한 결과는 불용성 인산을 사용 가능케 하는 AMF의 특징에 의한 것으로 토양 내 문제점이 되고 있는 인산 과용에 의한 불용성 인산염의 제거에도 매우 좋은 효과를 나타내리라 판단되었다. 또한 *Phytophthora capsici*에 의한 고추 역병에 대해서도 *Glomus manihot*의 접종이 그 피해를 경감시킬 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 고추 품종에 상관없이 파종 초기에 *Glomus manihot*을 접종한다면 고추의 성장과 질병 방제효과를 통해 보다 좋은 품질의 고추를 생산할 수 있을 것으로 판단되었었다.

사 사

본 연구는 2002년도 대구대학교 학술연구비에 의하여

수행되었음.

참 고 문 헌

- 농촌진흥청. 1988. 토양화학분석법. 농업과학기술원.
- 박향미, 강항원, 강위금, 박경배, 이상선, 송승달. 1999. Arbuscular mycorrhiza의 접종 방법 및 인산 시용량이 고추의 초기 생장에 미치는 영향. 한토비지. 32:68-75.
- 손보균. 1991. 시설원예작물의 균근 감염과 초기생장 반응에 미치는 토착 VA균근균에 관한 연구. 박사학위논문. 전남대학교.
- Azcon R. and E El-Atrash. 1997. Influence of arbuscular mycorrhizae and phosphorus fertilization on growth, nodulation and N₂ fixation in *Medicago sativa* at four salinity levels. Biol. Fertil. Soils. 24:81-86.
- Bagyaraj DJ. 1992. Vesicular arbuscular mycorrhiza: Application in agriculture. Methods Microbiol. 24:360-373.
- Baylis GTS. 1975. The magnolioid mycorrhizae and mycotrophy in root systems derived from it. In Endomycorrhizae, pp. 373-389. F.E. Sanders, B. Mosse and P.B. Tinker eds. Academic Press. London.
- Gupta V, T Satyanarayana and S Garg. 2000. General aspects of mycorrhiza. In Mycorrhizal Biology, pp. 27-44. K.G. Mukerji, B.P. Chamola, and J. Singh eds. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York.
- Jung W, B Lee, K Kim, S Chung and T Kim. 2000. Effects of inoculation of mycorrhiza and rhizobium on N, P utilization and vegetative growth of alfalfa (*Medicago sativa* L.). J. Korean Grassl. Sci. 20:275-284.
- Menge JA and LW Timmer. 1982. Procedures for inoculation of plants with vesicular-arbuscular mycorrhizae in the laboratory greenhouse and field. In Methods and Principles of Mycorrhizal Research. 59pp. Schenck, N.C. Ed. American Phytopathology Society. St. Paul.
- Read DJ, HK Koucheke and J Hodgson. 1976. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in native vegetation system. New Phytol. 77:641-653.
- Sharmila P, JT Puthur and P Pardha Saradhi. 2000. Vesicular arbuscular mycorrhizal fungi improves establishment of micropropagated plants. In Mycorrhizal Biology. pp. 235-250. K.G. mukerji, B.P. Chamola, and J. Singh eds. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York.
- Tinker PB, MD Jones and DM Durall. 1992. A functional comparison of ecto- and endomycorrhizas. In Mycorrhizas in Ecosystems. pp. 303-310. CAB International. Wellingford. UK.
- Vaast Ph, RJ Zasoski and CS Bledsoe. 1996. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation at different soil P availabilities on growth and nutrient uptake of *in vitro* popageted coffee (*Coffea arabica* L.) plants. Mycorrhiza 6:493-497.

Manuscript Received: June 24, 2003

Revision Accepted: August 12, 2003

Responsible Editorial Member: Young Gyu Chai
(Hanyang Univ.)